

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-017726

(43)Date of publication of application : 22.01.2002

(51)Int.Cl.

A61B 8/06  
A61B 8/04

(21)Application number : 2000-203839

(71)Applicant : OTSUKI SHIGEO  
TANAKA MOTONAO

(22)Date of filing : 05.07.2000

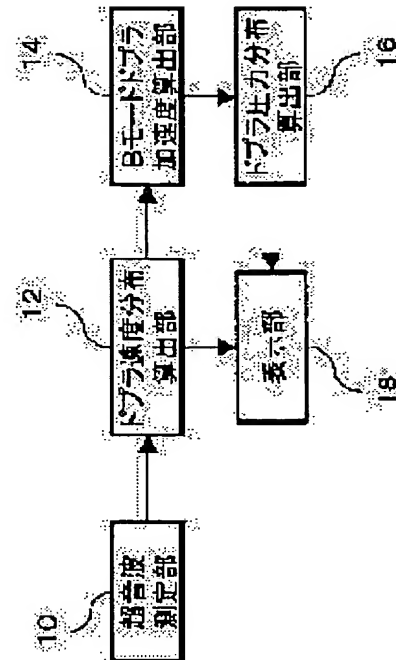
(72)Inventor : OTSUKI SHIGEO  
TANAKA MOTONAO

## (54) DOPPLER PRESSURE ESTIMATING DEVICE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device for estimating information on pressure in an observation face from information obtained by a Doppler method.

SOLUTION: A Doppler speed distribution computing part 12 computes the distribution of Doppler speed within an observation face by applying well-known Doppler processing to a pulse Doppler receive signal obtained by an ultrasonic measuring part 10. A B-mode Doppler acceleration computing part 14 estimates the distribution of speed components in an orthogonal direction to the beam direction in the observation face from the distribution of Doppler speed. The B-mode Doppler acceleration  $A_{db}$  of each point in the observation face is computed using the estimated result. A Doppler pressure distribution computing part 16 computes Doppler pressure  $p_d$  of each point in the observation face on the basis of the distribution of the B-mode Doppler acceleration  $A_{db}$ . A display part 18 displays the distribution of Doppler pressure  $p_d$  in a superposed state on a B-mode tomographic image.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-17726  
(P2002-17726A)

(43) 公開日 平成14年1月22日 (2002.1.22)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I                  | テーマコード(参考) |
|---------------------------|------|----------------------|------------|
| A 6 1 B 8/06<br>8/04      |      | A 6 1 B 8/06<br>8/04 | 4 C 3 0 1  |

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

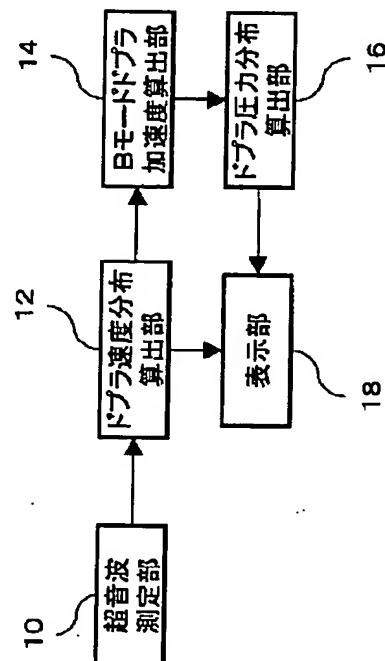
|           |                              |          |   |
|-----------|------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2000-203839 (P2000-203839) | (71) 出願人 | 000207012<br>大槻 茂雄<br>神奈川県相模原市横山 2 丁目12番15号                             |
| (22) 出願日  | 平成12年7月5日 (2000.7.5)         | (71) 出願人 | 000216759<br>田中 元直<br>宮城県仙台市青葉区国見 4 丁目4-26                              |
|           |                              | (72) 発明者 | 大槻 茂雄<br>神奈川県相模原市横山 2 丁目12番15号  |
|           |                              | (72) 発明者 | 田中 元直<br>宮城県仙台市青葉区国見 4 丁目4の26   |
|           |                              | (74) 代理人 | 100075258<br>弁理士 吉田 研二 (外2名)<br>Fターム(参考) 4C301 DD04 DD09 EE20 FF30 KK12 |

(54) 【発明の名称】 ドブラ圧力推定装置

(57) 【要約】

【課題】 ドブラ法により得られる情報から、観測面内の圧力に関する情報を推定する装置を提供する。

【解決手段】 ドブラ速度分布算出部12は、超音波測定部10で得られたパルスドブラの受信信号に対して周知のドブラ法の処理を施すことにより、観測面内のドブラ速度の分布を算出する。Bモードドブラ加速度算出部14は、ドブラ速度の分布から、観測面内でそのビーム方向に直交する方向の速度成分の分布を推定する。そして、この推定結果を用い、観測面内各点のBモードドブラ加速度 $A_{db}$ を算出する。ドブラ圧力分布算出部16は、Bモードドブラ加速度 $A_{db}$ の分布に基づき、観測面内各点のドブラ圧力 $p_d$ を算出する。表示部18は、ドブラ圧力 $p_d$ の分布をBモード断層像に重畳して表示する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 バルスドブラ法により、観測面内の各点のビーム方向速度成分の分布を求めるドブラ処理手段と、

求められたビーム方向速度成分の分布からビーム方向に垂直な方向の速度成分の分布を推定し、推定した速度成分の分布とビーム方向の速度成分の分布とから、Bモードドブラ加速度の分布を求めるBモード加速度分布算出手段と、

求められたBモードドブラ加速度の分布から前記観測面内の点のドブラ圧力を求めるドブラ圧力算出手段と、を備えるドブラ圧力推定装置。

【請求項2】 前記ドブラ圧力算出手段で算出した前記観測面内各点のドブラ圧力を分布表示する表示手段を更に備える請求項1記載のドブラ圧力推定装置。

【請求項3】 バルスドブラ法により観測面のBモード画像を生成する手段とを更に備え、前記表示手段は、前記ドブラ圧力の分布を前記Bモード画像に重畳して表示する、請求項2記載のドブラ圧力推定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は流体の観測面内ドブラ速度分布から圧力を推定する装置に関し、特に二次元観測面のドブラ速度分布から面内の圧力に関する情報を推定するための装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 超音波のドブラ効果を利用して観測面内の流体の流速分布を観測する方法が実用化されており、例えば心臓内の血流速度観測等に用いられている。このような血流分布は心臓の超音波断層像と重ね合わせてカラー表示され、心臓内の血管診断などに広く実用化されている。このようなドブラ速度は超音波ばかりでなく他の電磁波を用いても行うことができ、さらに、近年においてはこのような流速観測は海洋、湖水等の潮流観測あるいは空気中の雲の流れなどの観測に広く応用分野が広がっている。

【0003】 圧力情報は流れの様子を示す非常に重要な情報の一つである。超音波診断装置でも、圧力情報の診断への利用が試みられている。この例としては、特開平5-317313号公報に示すものがある。この従来技術では、カテーテルにより血管中に圧力センサを導入し、このセンサで血流の圧力を測定して診断に利用している。また、超音波を利用して血圧の連続測定を行う技術として、特開平11-309144号公報に開示された装置が知られている。この装置では、在来のカフ式の血圧計にて間欠的に血圧を測定する一方、超音波断層像にて血管の面積の変化を求め、この血管面積の連続的な

変化と血圧計の間欠的な血圧値に基づき、連続的な血圧変化を求めている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 特開平5-317313号公報の技術は、侵襲的な方式であり簡便性に欠ける。また、特開平11-309144号公報の技術は、血圧計の測定値を超音波診断情報により校正することにより血圧値を求めるものであり、超音波診断情報だけでは血圧値が求められない。さらに、上記従来技術はいずれも「血圧」としてのマクロな結果を求めるためのものであり、血流の各点の圧力情報を求めるといったミクロな測定はできなかった。

【0005】 本発明は上記従来課題に鑑みなされたものであり、その目的は、観測されたドブラ速度分布のみから観測面内各点の圧力に関する情報を推定することができる装置を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明に係るドブラ圧力推定装置は、バルスドブラ法により、観測面内の各点のビーム方向速度成分の分布を求めるドブラ処理手段と、求められたビーム方向速度成分の分布からビーム方向に垂直な方向の速度成分の分布を推定し、推定した速度成分の分布とビーム方向の速度成分の分布とから、Bモードドブラ加速度の分布を求めるBモード加速度分布算出手段と、求められたBモードドブラ加速度の分布から前記観測面内の点のドブラ圧力を求めるドブラ圧力算出手段とを備える。

【0007】 好適な態様では、ドブラ圧力推定装置は、バルスドブラ法により観測面のBモード画像を生成する手段と更に備え、この手段で生成したBモード画像に対し、ドブラ圧力算出手段で求めた観測面内各点のドブラ圧力の分布を重畳して表示する。

## 【0008】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の実施の形態（以下実施形態という）について、図面に基づいて説明する。

【0009】 【原理】 超音波カラードブラ法によれば、観測面内各点の速度の時空間における変化の情報が得られる。この速度変化から加速度が推定でき、これからこの加速度を生じさせる圧力分布の情報が求められる。これが本実施形態の手法の基本的な考え方である。ドブラ法から推定できる圧力の成分をドブラ圧力と呼ぶことにする。以下、このドブラ圧力の求め方について説明する。

【0010】 流体中の速度ベクトルを $V$ とすると、速度と圧力 $p$ にはNavier-Stokesの運動方程式により次の関係が成り立つ。

## 【0011】

【数1】

$$\frac{DV}{Dt} = F - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 V$$

(1)

ここで、 $DV/Dt$ は実質加速度、 $F$ は単位質量当たり \*となる。

の外力ベクトル、 $\rho$ は密度、 $\nu$ は動粘性係数である。粘 【0012】

性が無視できるときには、次のEulerの運動方程式\* 【数2】

$$\frac{DV}{Dt} = F - \frac{1}{\rho} \nabla p$$

(2)

一般的な状況で作用する外力は重力であるが、重力は血 10※うに簡略化できる。

流や雲の水滴などのミクロな系では他の力からみて無視 【0013】

できる程度に小さい。したがって、運動方程式は次のよ※ 【数3】

$$\frac{DV}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p$$

(3)

ここで、実質加速度 $DV/Dt$ は、カーテシアン座標で ★【0014】

は、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向の速度成分をそれぞれ $u$ 、 $v$ 、 $w$ と 【数4】

すると、次のように表される。

$$\begin{aligned} \frac{DV}{Dt} = & \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) i \\ & + \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) j \\ & + \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) k \end{aligned}$$

(4)

<Aモードドブラ圧力>パルスドブラ法で計測できるビ ☆【0015】

ーム方向の速度成分 $u$ について求められる加速度成分 $A$  【数5】

$da$ は、次のようになる。 ☆

$$A_{da} = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x}$$

(5)

この加速度成分をAモードドブラ加速度と呼ぶことにす

る。なお、ここでは、超音波ビームの送受方向を $x$ 方向 30 ◆る圧力 $p_{da}$ を、Aモードドブラ圧力と呼ぶこととする。

としている。 Aモードドブラ圧力 $p_{da}$ は、次の関係を満たす。

【0017】

【0016】さて、このAモードドブラ加速度に対応す ◆ 【数6】

$$A_{da} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp_{da}}{dx}$$

(6)

この関係から、Aモードドブラ圧力 $p_{da}$ は、次の式で表 \*【0018】

される。 \* 【数7】

$$p_{da} = -\rho \int_{x_0}^x A_{da} dx$$

(7)

この圧力 $p_{da}$ は、ある基準位置 $x_0$ の圧力に対する相対 40 ける極座標表示の例であり、 $r$ は原点からの距離を示す。

【0019】<Bモードドブラ圧力>ビームの走査面 (x y面) 上でのビームに直交する速度成分 $v$ は、観測

面内のドブラ速度 $u$ の分布から推定することができる。この推定は、本出願人による特開平11-83564号

公報に示した方法を用いて行う。この推定法の詳細は当該公報に譲るが、簡単に説明すると、以下の通りである。まずドブラ法により求められた観測面内のドブラ速

度分布から、流量距離関数 $Q_d(r)$ を求める。ただし、こ

40 ける極座標表示の例であり、 $r$ は原点からの距離を示す。この流量距離関数 $Q_d(r)$ は、観測面において、原点 $O$ からの距離が $r$ の円弧を通過する総流量である。この流量距離関数 $Q_d(r)$ を用いることにより、面外から観測面への流入を量子化することができる。この量子化は、流量距離関数 $Q_d(r)$ を、予め定めた単位流量 $q$ ごとに变化する階段状の関数で近似することにより行う。このようにして近似された階段状関数の下りステップの距離 $r$ に湧き出し点が、上りステップの距離 $r$ に吸い込み点があると仮定する。次に、階段状関数のステップの距離 $r$ の円弧上で、湧き出し又は吸い込み点の位置を特定

する。すなわち、湧き出し点の位置は該当する円弧上においてドブラ速度のビーム方向変化率が負で絶対値が最大となる位置とし、吸い込み点の位置は該当する円弧上においてドブラ速度のビーム方向変化率が正の最大値となる位置とする。これは、流線源の位置付近ではドブラ速度の距離変化率が大きいとの考えに基づくものである。このようにして決定した各流線源は、それぞれ単位流量 $q$ の湧き出し又は吸い込みのいずれかである。これら流線源群は、観測面に対する面外からの流入、流出を代表したものである。流線源群による流量関数をドブラ法により得られる観測面内のドブラ流量関数 $Q_d(r, \theta)$ と組み合わせることにより、面内の流量関数を求めることができる。流量関数は、2次元の流れ関数を、3次元中の二次元観測面内の流線が描けるように拡張した\*

$$A_{db} = \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) i + \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) j \quad (8)$$

とし、これをBモードドブラ加速度と呼ぶことにする。このとき、次の関係を満たす圧力 $p_{db}$ をBモードドブラ圧力と名付ける。

$$A_{db} = -\frac{1}{\rho} \left( i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} \right) p_{db} \quad (9)$$

この式の両辺を、基準点 $P_0(x_0, y_0)$ から観測点 $P(x, y)$ まで経路 $c$ に沿って線積分することにより、Bモードドブラ圧力 $p_{db}$ を次のように求めることができ★

$$p_{db} = -\rho \int_c A_{db} \cdot dl \quad (10)$$

このBモードドブラ圧力 $p_{db}$ の値は経路 $c$ に依存し、層状関数となる。層状関数については、「三次元流中の平面内の流量関数と流線」大槻、田中、可視化情報学会誌 pp.40-44, Vol.18, No.69(1998年4月)、に説明されている。またこのような経路 $c$ の取り方の違いによる積分結果の差の取り扱い方については、本出願人による特開平11-83564号公報に詳しい。また、Helmholtzの定理によれば、このBモードドブラ圧力は、スカラーポテンシャルとベクトルポテンシャルを用いて表現することもできる。

【0023】<ドブラ圧力>式(3)に示すように加速度は圧力勾配に比例するので、この加速度をある基準点から観測点までの経路に沿って線積分し、その結果を比例定数倍することにより、その基準点に対する観測点の相対圧力としての圧力値が求められる。ここで、周知のように、流体の三次元空間での圧力はスカラーポテンシャルである。圧力がスカラーポテンシャルであるということは、線積分により求める圧力値が、その線積分の経路によらないことを意味している。例えば、図1の例において、2つの点の間の $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ の3つの異なる

\*ものであり、流れの速度ベクトルを90度回転させた流量勾配ベクトルを基準点から観測点まで所定の経路に沿って線積分したものである。また、ドブラ流量関数は、ドブラ法による観測面の側方境界線(セクタ走査の場合は円弧領域の側部の半径の線)上の点を基準点とし、その基準点から観測面内の観測点まで、ビーム方向に垂直な経路に沿ってドブラ速度を線積分したものである。このようにして求めた流量関数の等レベル線として面内の流線が求められる。そして、この面内流線から、ビーム直交方向の速度成分 $v$ が推定できる。

【0020】 $x$ 方向と $y$ 方向の速度成分 $u$ 、 $v$ から求められる加速度成分を、

【数8】

※【0021】  
【数9】

※20

★る。

【0022】

【数10】

経路に沿って加速度の線積分を行っても、その結果はすべて同じ値となる。このようなことから、基準点と観測点とが同一観測面内であれば、積分経路を観測面内に設定して線積分を行うことにより圧力値を求めることができる。このとき、本実施形態では、加速度の面内成分のみを用いて線積分を計算する。これにより、三次元 $(x, y, z)$ の流体の(相対)圧力は観測面(ここでは $z = z_0$ とする)内の加速度成分の分布情報のみで、観測面内の圧力に関する情報を決定できる。

【0024】ここで、観測面内の加速度成分の分布を $xy$ 面内の加速度分布とし、 $z$ 軸方向では加速度が変化しない等価加速度ベクトル場を考える。この流体の $xy$ 面内の圧力は、三次元 $(x, y, z)$ 流体内の観測面( $z = z_0$ )の圧力と等価である。そこで、この等価加速度ベクトル場の $xy$ 面内の圧力を求める。

【0025】等価加速度ベクトル場の $xy$ 面内の加速度ベクトルを $A_2$ とする。これは、Bモードドブラ加速度 $A_{db}$ と次の関係にある。

【0026】

【数11】

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) i \\
 &+ \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) j \\
 &= A_{db} + A_{wz}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

ここで、Bモードドラ加速度  $A_{db}$  を回転成分  $A_{rot}$  と  
その他の成分  $A_d$  とに分解すると次のようになる。 \* 【0027】

$$A_{db} = A_d + A_{rot} \tag{12}$$

この加速度  $A_d$  をドラ加速度と名付ける。また、加速  
度  $A_{wz}$  も、回転成分  $A_{wzr}$  とその他の成分  $A_\delta$  とに分け  
ると、次のようになる。 ※ 【0028】

$$A_{wz} = A_\delta + A_{wzr} \tag{13}$$

図2に、各加速度成分  $A_2$ 、 $A_{db}$ 、 $A_{wz}$ 、 $A_{rot}$ 、 $A_d$ 、  
 $A_{wzr}$ 、 $A_\delta$  の関係を模式的に図示する。 ★ のようになる。

【0029】以上の関係を総合すると、加速度  $A_2$  は次 ★ 【0030】

$$\begin{aligned}
 A_2 &= A_d + A_\delta + (A_{rot} + A_{wzr}) \\
 &= A_d + A_\delta + A_{2r}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

ここで、加速度  $A_2$  は、スカラーポテンシャルである圧  
力勾配に比例するベクトルなので、回転成分は持たな ☆ 【数15】

$$A_{2r} = A_{rot} + A_{wzr} = 0 \tag{15}$$

となるので、次の関係が導かれる。

【0031】 ◆ 【数16】

$$A_{wzr} = -A_{rot} \tag{16}$$

この関係は、加速度の回転成分  $g$ 、Bモードドラ加速  
度  $A_{db}$  の回転成分を打ち消すことを意味する。結局、加  
速度  $A_2$  は次のように表されることになる。 \* 【0032】

$$A_2 = A_d + A_\delta \tag{17}$$

ここで、加速度  $A_\delta$  は、観測面を横切る流体の観測面に  
平行な速度成分が変化することにより、圧力に影響を与  
えることになる加速度成分である。三次元空間でのある  
点の加速度  $A$  と  $xy$  面内での加速度  $A_2$ 、及び加速度  $A_d$ 、  
 $A_\delta$  の関係を図3に模式的に示す。

【0033】本実施形態では、このドラ加速度  $A_{db}$  を ※

ら求められる圧力情報をドラ圧力  $p_d$  とし、これを求  
めて表示等を利用する。ドラ圧力  $p_d$  は次式で表され  
る。

【0034】  
【数18】

$$p_d = -\rho \left( \int_S \nabla \cdot A_{db} \left( \int_{r_0}^r \frac{dr}{2\pi r} \right) dS + \int_c A_{db} \cdot dl \right) \tag{18}$$

ここで、 $r$  はドラ圧力を求める点（すなわち観測点）  
と面  $S$  の面積素  $dS$  との距離であり、 $r_0$  は基準点と面  
積素  $dS$  との距離である。ここで、 $S$  は観測面である。  
また、 $A_{db}$ （アッパーバー付き）は、Bモードドラ加  
速度  $A_{db}$  の面  $S$  での平均である。そして、 $dl$  は面  $S$  内  
で任意に設定した線積分経路  $c$  の線素である。

【0035】この式（18）の導出について以下説明す

る。Helmholtzの定理に示されるように、任意  
のベクトル場  $V$  はスカラーポテンシャル  $\phi$  とベクトルポ  
テンシャル  $A$  とによって次のように表される（「理工学  
のための数学ハンドブック」数学ハンドブック編集委員  
会、丸善株式会社（1960）p. 258参照）。

【0036】  
【数19】

$$\begin{aligned}
 \mathbf{V} &= \text{grad } \phi + \text{rot } \mathbf{A} \quad (\text{div } \mathbf{A} = 0) \\
 \phi &= - \int \int \int_V \frac{\text{div } \mathbf{V}}{4\pi r} dV \\
 \mathbf{A} &= \int \int \int_V \frac{\text{rot } \mathbf{V}}{4\pi r} dV
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

そして、三次元ベクトルの発散とスカラーポテンシャルとの関係は次のように表せる。 \* 【0037】  
\* 【数20】

$$\begin{aligned}
 \phi &= - \int \int \int_V \frac{\text{div } \mathbf{V}}{4\pi r} dV \\
 &= \int \int \int_V \left( \int_{r_0}^r \frac{\text{div } \mathbf{V}}{4\pi r^2} dr \right) dV
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

これは、発散  $\text{div } \mathbf{V}$  が球面拡散した単位体積当たりのベクトルを、 $r_0$  (基準点までの距離) から  $r$  (観測点までの距離) まで積分して求められる単位体積当たりのスカラーポテンシャルを体積分したものと解釈できる。

【0038】一方、二次元流の場合にこれを拡張すると、この発散  $\text{div } \mathbf{V}$  が円筒拡散した単位面積当たりのベクトル成分  $\{\text{div } \mathbf{V} / (2\pi r)\}$  を、 $r_0$  (基準点ま

※での距離) から  $r$  (観測点までの距離) まで積分して求められる単位面積当たりのスカラーポテンシャルを面積積分したものと解釈できる。すなわち、以下の通りである。

【0039】  
【数21】

$$\begin{aligned}
 \phi &= \int \int_S \left( \int_{r_0}^r \frac{\text{div } \mathbf{V}}{2\pi r} dr \right) dS \\
 &= \int_{r_0}^r \left( \int \int_S \frac{\text{div } \mathbf{V}}{2\pi r} dS \right) dr \\
 &= \int_{r_0}^r \left( \int_Q \frac{dQ}{2\pi r} \right) dr
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

この式では、微小面積  $dS$  での湧き出し  $\text{div } \mathbf{V} dS$  を  $dQ$  とした。更にこれをベクトルとして扱うと次の結果が得られる。 ★ 【0040】  
【数22】

★30

$$\begin{aligned}
 \phi &= \int_{r_0}^r \left( \int_Q \frac{dQ}{2\pi r} \right) dr \\
 &= \int_{r_0}^r \left( \int_Q d\mathbf{A} \right) \cdot d\mathbf{r} \\
 &= \int_{r_0}^r \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r}
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

ここで、ベクトル  $d\mathbf{A}$  の大きさは、 $dQ / (2\pi r)$  である。 $d\mathbf{A}$  の向きは、湧き出しのある微小面積の位置から見た観測点の向きである。観測領域内のすべての湧き出しによる観測点のベクトルが、この式におけるベクトル  $\mathbf{A}$  である。

☆

☆ 【0041】一般に、空間  $V$  内の圧力  $p$  の分布は、同じ空間内の三次元流の加速度  $\mathbf{A}$  の分布から次のように求められる。

【0042】  
【数23】

$$p = -\rho \left( \int_V \nabla \cdot \mathbf{A} \frac{dV}{4\pi r} + \int_c \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} \right)
 \tag{23}$$

ここで  $\mathbf{A}$  (アッパーバー付き) は、空間における加速度の平均値である。この式を、前記式 (21) 及び (22) を考慮して二次元に拡張すると、前述の式 (18) が得られる。

【0043】以上説明したように、本実施形態によれ

50

ば、まずバルスドブラ法によって、観測面内の各点のドブラ速度 (ビーム方向の速度成分) の分布が求められる。このように求められたドブラ速度分布から、流線源を推定することにより、ビーム方向に垂直な方向の速度成分を推定できる。そして、流体のビーム方向の速度成

分及びそれに垂直な速度成分から、Bモードドブラ加速度の分布を求めることができる。Bモードドブラ圧力の分布は、このBモードドブラ加速度の分布から求めることができる。三次元空間での流体の圧力はスカラー量なので、Bモードドブラ加速度からその回転成分を除いて得られるドブラ加速度から、スカラー量としてのドブラ圧力 $p_d$ を求めることができる。ドブラ圧力は、流体で満たされた自由空間で、ドブラ情報から推定できる流体の圧力分布である。

【0044】〔装置構成例〕図4に、本発明に係るドブラ圧力推定法を適用した超音波診断装置の概略構成を示す図である。

【0045】図4において、超音波測定部10は、超音波振動子とその走査機構（電子方式でも機械方式でもよい）を備え、予め指定された観測面に沿って超音波パルスのビームを走査する。観測面内の音波反射体のエコーが超音波測定部10で受信される。ドブラ速度分布算出部12は、その受信信号に対して周知のドブラ法の信号処理及び演算処理を施すことにより、観測面内の各点のドブラ速度（ビーム方向速度）を算出する。ドブラ速度分布の情報は表示部18に与えられる。またドブラ速度分布算出部12は、通常のBモード断層画像の生成も行い、これを表示部18に供給する。

【0046】Bモードドブラ加速度算出部14は、このドブラ速度の分布の情報から、観測面内のBモードドブラ加速度 $A_{db}$ の分布を求める。この処理において、Bモードドブラ加速度算出部14は、まず上述のようにドブラ速度の分布から、観測面でそのビーム方向に直交する方向の速度成分の分布を推定する。そして、この推定結果を用いることにより、ビーム方向の速度成分（ドブラ速度）とそれに垂直な方向の面内速度成分とから、前述の式（8）を用いて観測面内各点のBモードドブラ加速度 $A_{db}$ を算出する。

【0047】そして、ドブラ圧力分布算出部16は、B\*

\*モードドブラ加速度 $A_{db}$ の分布に基づき、前述の式（18）を用いて観測面内各点のドブラ圧力 $p_d$ を算出する。

【0048】表示部18は、このようにして求められたドブラ圧力 $p_d$ の分布を画面表示する。この場合、ドブラ圧力分布をBモード断層像に重畳して表示することで、被検体内部での流体の圧力分布がわかりやすくなる。ドブラ圧力分布の表示は、例えばカラー表示によりBモード断層像（一般に白黒の濃淡表示である）と区別できるようにし、圧力値の大小をそのカラーの濃淡で表すようにすればよい。また、圧力の高低を色相のグラデーションで表現することも好適である。なお、表示部18は、この圧力分布の表示の他に、ドブラ速度分布の表示も行うことができる。

【0049】この装置によれば、ドブラ法により得られるビーム方向の速度の分布情報のみから、観測面内各点のドブラ圧力を推定し、この分布を表示することができる。このドブラ圧力の分布により、観測面内の圧力に関する情報が得られる。

【0050】以上、観測波として超音波を用いた装置を例にとって説明したが、本発明は電磁波を用いた気象ドブラレーダなどにも適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 異なる線積分の経路を示す図である。

【図2】 実施形態の方法で導出される各加速度成分の関係を模式的に示す図である。

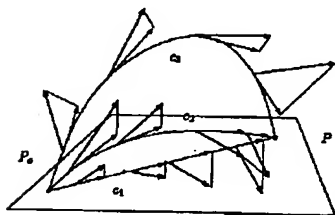
【図3】 三次元の加速度 $A$ と、本実施形態で導出される各加速度成分との関係を模式的に示す図である。

【図4】 実施形態の超音波診断装置の構成例を示す図である。

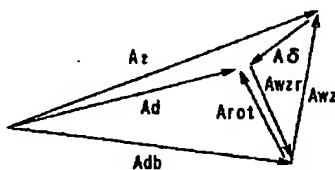
【符号の説明】

10 超音波測定部、12 ドブラ速度分布算出部、14 Bモードドブラ加速度算出部、16 ドブラ圧力分布算出部、18 表示部。

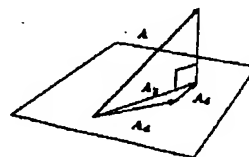
【図1】



【図2】



【図3】





【図 4】

